

Análisis prospectivo de la cadena de suministro para el desarrollo de energía eólica marina en Costa Rica

Foresight analysis of supply chain for development of offshore wind in Costa Rica

José Rodrigo Rojas M.¹, Karla Chaves Martínez².

1. Universidad Nacional, Ingeniería Hidrológica, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica; jose.rojas.morales@una.cr, ORCID: orcid.org/0000-0002-3881-9076
2. Universidad Earth, Especialidad Energías Renovables. kachama06@gmail.com

RESUMEN:

Se presentan los resultados de una investigación basada en vigilancia tecnológica, de carácter documental, comparativa y con visión en prospectiva, sobre los avances y brechas actuales para la implementación de la cadena de suministro que requiere el futuro desarrollo y aprovechamiento de la energía eólica marina en Costa Rica. Como economía emergente, el país se ha destacado internacionalmente, por asumir y liderar compromisos significativos con los ODS, con la acción climática y con la descarbonización de la economía. Por lo tanto, resulta fundamental mantener la visión electro-energética de 100% renovabilidad, pero también impulsar la inclusión, diversificada y progresiva, del uso de energía no convencional como el viento marino. En esto, el país cuenta con una serie de condiciones habilitantes, pero también múltiples desafíos que deberá enfrentar y superar en la planificación, construcción y operación de plantas eólicas marinas. El aprovechamiento del viento marino es una tendencia energética que vino para quedarse, ya aprendimos a planificar el uso de recursos energéticos continentales, debemos hacer lo mismo con el patrimonio marino.

Palabras clave: Cadena de suministro, energía eólica marina, prospectiva, Costa Rica

ABSTRACT:

This study shows the results of a research based on technological vigilance, comparative publications and foresight perspective, on current advances and gaps for the implementation of the supply chain for the future development and uses of the offshore wind energy in Costa Rica. This emerging economy has stood out, internationally, for leading significant commitments to the SDGs, climatic actions and decarbonization of the economy. Therefore, it is essential to maintain the 100% renewable energy vision, but also to encourage the addition, in a diversified and progressive way, of non-conventional energy, such as offshore wind. The findings of this analysis confirm multiples and significant challenges that must be overcome for the planning, construction, and operation of offshore wind plants. Offshore wind industry is a global tendency, and currently the country has learned about the use of continental energy resources, it must do so with the marine energy patrimony.

Key words: Supply chain, offshore wind, foresight, Costa Rica

Introducción

La matriz energética mundial está constituida principalmente de fuentes fósiles, con una importante participación directa, de al menos dos terceras partes, de recursos que producen emisiones de gases de efecto invernadero y acrecientan la temperatura global (Acuerdo de París, 2015). Bajo este escenario, y de acuerdo con lo que señala Luderer *et al.*, (2012), la transformación de la matriz energética global es un paso obligatorio en el esfuerzo por frenar el calentamiento planetario. Por lo tanto, el futuro resiliente como el que se planteó en la reciente Conferencia de las Naciones Unidas, sobre Desarrollo Sostenible (Acuerdo de París 2015), solo será posible si nos alejamos de los escenarios energéticos convencionales (business as usual) e incentivamos una mayor participación de energía de fuentes renovables bajas en emisiones (Poltronieri & Cabrera, 2016). En esto, Costa Rica representa un modelo que ha sido reconocido a nivel mundial, por generar 98% de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables (MINAE, 2019). Mantener dicho compromiso requiere una periódica revisión y actualización de los planes de expansión de la generación eléctrica. Dichos planes son formulados atendiendo criterios de menor dependencia de combustibles fósiles, seguridad energética, acceso universal y servicio al menor costo (ICE, 2018).

Gracias a la estructura de planificación electro-energética de mediano y largo plazo, el país ha consolidado una matriz eléctrica firme a partir del aprovechamiento de la hidroelectricidad, la geotermia y la energía eólica continental, pero también del aumento de energía procedente de recursos no convencionales (*sensu stricto*, Jara, 2006) como la solar y la biomasa húmeda y seca. No obstante, la progresiva gravedad de los efectos ambientales, económicos y sociales derivados del calentamiento global, exigen a las naciones impulsar, de forma significativa y permanente, nuevas fuentes de energía renovable y sostenible que cubran la demanda del país. Procurar esta resiliencia energética, requiere el impulso de fuentes alternativas no tradicionales, como son las energías marinas.

Lograr esta diversificación electro-energética, solo es viable si hay transformaciones en la forma en que usamos la energía, en esto Godínez-Zamora *et al.*, (2020), concluyen que mantener la ruta de la descarbonización de la economía de Costa Rica depende de logremos la disponibilidad de varios gigavatios de energía resiliente. Lo esperable es que esta demanda facilite la participación de recursos energéticos firmes continentales convencionales, como la hidroelectricidad y la

geotermia, así como un aporte significativo de fuentes no convencionales oceánicas como el potencial eólico marino instalado en nuestras costas. Para responder a este escenario, resulta fundamental avanzar con investigaciones de base sobre el ciclo de proyectos y cadena de valor y que se ordenen los pasos para concretar el aprovechamiento energético que ofrece el mar y en especial la energía del viento marino cuyo despliegue mundial ya es tendencia (Huckerby *et al.*, 2016 e IRENA, 2019).

Desarrollo eólico en Costa Rica

En Costa Rica, según Laporte (1979), el primer estudio técnico sobre el potencial de los vientos para la generación eólica fue realizado en 1979, en el marco del proyecto “Fuentes de Energía no Convencionales”. Los resultados de esta investigación delimitaron una serie de zonas de aprovechamiento del viento para generación eléctrica. La franja más importante se encuentra en la provincia de Guanacaste, al oeste de las Cordilleras de Tilarán y Guanacaste. Aquí destaca el sitio Tejona, la primer planta eólica propiedad del estado costarricense (Laporte, 1980; ICE-Electrowatt, 1984; Díaz, 2006 y Contreras y Sauma, 2017).

En 1990 se dio un acontecimiento de gran relevancia para la generación eléctrica privada, entró a regir la Ley 7200. Esta habilitó el aprovechamiento de la generación eólica, así pocos años después, en 1996, entró en operación Plantas Eólicas S.A (PESA) con una capacidad de 20 MW y la primera con fines comerciales en Costa Rica y en Latinoamérica. Posteriormente entraron en funcionamiento Aeroenergía y Molinos de Viento del Arenal S.A (Movasa), en 1998 y en 1999 respectivamente (Sancho, 2000). Luego en 2002 entró Tejona con una capacidad instalada 19,8 MW (Hidalgo *et al.*, 2013 y Bonilla, 2015).

La energía eólica marina a nivel mundial

Esta fuente de energía se ha convertido en una opción tecnológica madura, con impactos ambientales moderados y con el potencial de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. El aprovechamiento del recurso eólico marino irrumpió en las matrices eléctricas de países desarrollados y economías emergentes con la intención de quedarse, por lo tanto, es un desafío nacional conectarnos con dichas tendencias y aprovechar los avances científicos para optimizar el aprovechamiento futuro del recurso energético marino local. Los datos demuestran que esta fuente ha experimentado niveles récord de instalación y una tasa de crecimiento permanente especialmente en Europa y Asia (Energía eólica Asociación 2015). El mayor mercado es Reino Unido, con un 36% de la capacidad instalada mundial, seguido por Alemania con un 29% y China

en tercer lugar. Según la Coalición de Acción para las Energías Renovables del Océano (OREAC, 2020), solo en 2019, 14 países han instalado parques eólicos en el mar alcanzando la cifra récord de 14 384 MW de potencia acumulada, para 2050 se alcanzarán 1 400 GW de capacidad eólica marina y se generarán 20 millones de nuevos empleos.

Según estos datos, Costa Rica debe aprovechar los avances científicos para optimizar el recurso energético que tenemos en nuestros mares y bajo compromisos equivalentes, impulsar investigaciones científicas y condiciones habilitantes para que en las próximas décadas se cuente con energía no tradicional. La ruta debe ser la misma que se ha trazado para otras opciones energéticas, esto implica desarrollar estudios en toda la cadena de suministro que requiere el ciclo de vida de estos proyectos, conocer los potenciales, identificar las opciones tecnológicas y aplicar los análisis económicos, financieros, sociales y ambientales que correspondan para determinar la factibilidad de un determinado emprendimiento. Esta fuente de energía puede llegar a desempeñar un papel estratégico en el cumplimiento de los planes de expansión de la energía, servir como vehículo de propósito específico para el plan de descarbonización, dinamizar la economía marino-costera, apoyar los mandatos de la economía azul y contribuir con el desempeño de los objetivos de desarrollo sostenible.

Para integrar la energía eólica marina, como parte del mix energético, es preciso adoptar transformaciones tecnológicas e inversiones en toda la cadena de valor de la industria eléctrica, desde la planificación hasta la comercialización, mejoramiento de infraestructura portuaria y ordenamiento marino costero, pero también es necesario adoptar enfoques innovadores de financiamiento, marcos de políticas y cooperación internacional. Estos aspectos son abordados a lo largo de esta investigación.

Cadena de suministro para la energía eólica marina en Costa Rica

El concepto de cadena de suministro (también conocida como Supply Chain Management) surgió hace décadas y ha alcanzado gran aceptación a nivel mundial. En el esfuerzo de definir la complejidad de este enfoque, la literatura ha ofrecido varias definiciones (Marbet y Venkataramanan, 1998 y Lambert *et al.*, 1998), sin embargo, en esta investigación se adopta la que propone García (2006) y que indica que esta cadena consiste en la planificación, organización y control de aquellas actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la concepción de un producto hasta llegar al usuario final. Bajo esta definición, el desarrollo de un parque eólico marino es parte de una cadena de acciones y un complejo rompecabezas que sigue

un orden en la ejecución de procesos.

En lo referido y aunque el aprovechamiento de la energía eólica marina en Costa Rica es de reciente data, se han hecho importantes inversiones y esfuerzos investigativos. La academia (UCR, UNA y ITCR), organizaciones no gubernamentales (Marviva, Costa Rica X Siempre y Fundación Neotrópica) e instituciones públicas (MINAE, ICE y MICITT), apoyan acciones para el futuro uso de esta fuente de energía, especialmente la ya identificada en el Pacífico Norte (ICE, 2019). Sin embargo, estas iniciativas no abordan elementos específicos del funcionamiento de la cadena de suministro, ni tampoco sobre la red funcional que requiere el desarrollo de un plan estratégico. Esta ausencia, según WOCT (2016), debilita el avance de una hoja de ruta o de un plan de proyectos para el aprovechamiento de este recurso. Sin el enfoque de cadena de suministro, concluyen Poulsen y Rasmus (2017), aparecen una serie de consecuencias indeseadas y deficiencias en la logística. Para evitar estas eventuales situaciones, en este estudio se exponen un conjunto de elementos condicionantes que deben valorarse para tener éxito en el futuro despliegue de la energía eólica marina a nivel nacional. El objetivo del artículo es describir, con visión de prospectiva, la cadena de suministro de la energía eólica marina en Costa Rica.

METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo, esta investigación recurre a tres enfoques de la inteligencia documental (Rojas, 2010; Arango *et al.*, 2012 y Rodríguez *et al.*, 2016).

- a) **Vigilancia comercial:** para analizar los aspectos comerciales de la cadena de suministro en proyectos de generación eléctrica con fuentes renovables.
- b) **Vigilancia científica:** para mapear el avance de estudios, investigadores y centros de estudio que invierten recursos y logística al tema de cadena de suministro de la industria eléctrica.
- c) **Vigilancia tecnológica:** para identificar las aplicaciones y tendencias que hay en ciencia, tecnología e innovación sobre la cadena de suministro.

Para referenciar los alcances de esta investigación se utilizan los estándares y redes funcionales que han comprobado ser útiles en empresas con amplia trayectoria en proyectos eólico marino, como el caso de Fowind (2016), Norwegian Energy Partners (2017) y BVG Associates (2019). En general, estas empresas dividen la cadena en seis macro actividades:

- a) desarrollo y gestión del proyecto
- b) fase de las turbinas
- c) balance de plantas
- d) instalación y puesta en marcha del proyecto
- e) operación y mantenimiento
- f) desarme y cierre

Con base en registros y publicaciones, sobre el avance de la industria en Costa Rica, se aplicó una valoración semicuantitativa para representar el estado de avance de cada macro actividad (Cuadro 1). La valoración se trasladó a una matriz de evaluación donde las macro actividades se convirtieron a datos cuantitativos que califican el desempeño y nivel de cumplimiento de acuerdo con tres categorías: A. clase mundial, B. buena o C. con rezagos importantes (detalles en Cuadro 2).

RESULTADOS

En esta sección se exponen las macro actividades que aplican para la cadena de suministro asociada con el aprovechamiento del recurso eólico nacional, el avance nacional y un cuadro de balance con una calificación asociada con brechas de desempeño y/o preparación de condiciones para el cumplimiento.

Desarrollo y gestión del proyecto: Esta macro actividad incluye los estudios de campo y acciones que se requieren para alcanzar la viabilidad técnica, el cierre financiero y los permisos necesarios para proceder con la construcción del parque eólico marino. Aquí se considera las fases de pre-inversión, prefactibilidad y factibilidad, técnica, ambiental y social. Para superar esta fase se deben establecer campañas de medición y bases de datos campo sobre el uso del recurso viento. Hay que asumir los costos de contar con sistemas LIDAR, boyas oceanográficas y torres de medición marina, con una inversión cercana a los tres millones dólares (BVG Associates, 2019). Esta fase considera investigaciones en sitio para la ubicación del proyecto, cableado en alta mar y obras de la subestación en tierra, así como los estudios geofísicos, curvas batimétricas, perfil topográfico del fondo marino e ingeniería básica para la instalación de torres. Esta fase también incluye posicionamiento de cables desde y hacia el mar y la tierra y la evaluación específica de la actividad turística marino-costera, pesca deportiva, investigaciones sobre vida marina, recursos bénticos, pelágicos, aves, peces, rutas migratorias de mamíferos marinos, áreas marinas protegidas, ordenamiento espacial marino, negociación con partes interesadas y mecanismos de gobernanza

para consentimiento previo e informado y permisos para los licenciamientos ambientales requeridos.

Avance nacional: En términos generales esta macro actividad presenta importantes avances, ya que desde hace varias décadas Costa Rica cuenta con un extenso portafolio de investigaciones y una amplia cartera de profesionales con experiencia acreditada en administración de proyectos en toda la cadena de valor de la industria eléctrica (no para proyectos offshore) (Seco, 2005). A nivel académico, las cinco universidades públicas de CONARE (UCR, UNA, UTN, UNED e ITCR) y varias instituciones privadas (ICAP, UACA, U. Latina, U. Hispanoamericana) cuentan con ofertas para estudios en esta área del conocimiento. Adicionalmente existen gremios (colegios profesionales) de académicos e investigadores especializados en la formación de ingenieros (oceanógrafos, eléctricos, civiles, electromecánicos, industriales) con las habilidades para revolver desafíos de la planificación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento de infraestructura especializada para proyectos eólico marino. A nivel institucional, existen empresas públicas (Instituto Costarricense de Electricidad, Compañía Nacional de Fuerza y Luz) y privadas (Cooperativas generadoras y distribuidoras de energía) con amplio conocimiento en estudios de pre y factibilidad de proyectos de generación eléctrica, construcción de subestaciones y colocación de líneas de distribución y transmisión de energía. Además, por su vocación en generación con fuentes renovables, Costa Rica destaca como uno de los países de la región, con alta capacidad tecnológica para enfrentar los desafíos que impone el desarrollo de proyectos de generación en la zona marina. Se destacan las investigaciones específicas sobre el potencial del recurso eólico marino en el Pacífico Norte del país (ICE, 2019), la descripción detallada de una zona marina con potencial de generación con viento marino, así como un resumen de estudios sobre restricciones ambientales, socioeconómicas y normativa aplicable (Fallas, 2018). Se cuenta con una serie de recomendaciones para la etapa de factibilidad. Empero a lo señalado, el país apenas inicia con estudios específicos de eólico marino, por lo tanto, a esta primera macro actividad se le asignan tres puntos (Cuadro 3).

Suministro de Turbinas

Esta macro actividad considera lo relacionado con la instalación de las turbinas y despliegue tecnológico (cimientos, tipo de torres, caja de cambios, banco de poder, rotor, aspas, característica de las góndolas) que requiere un parque eólico marino. Las turbinas son componentes altamente

sofisticados, de gran envergadura y ensambladas para cumplir con estándares de mayor durabilidad, desempeño técnico y funcionamiento en ambientes marinos hostiles (salinidad, corrosión, fatiga y extenuación de materiales). Esta macro actividad también considera el buque de transporte, los procesos de ensamblaje de la turbina, inmersión de cableado y las conexiones con la subestación en tierra.

Avance nacional: De acuerdo con Richmond *et al.*, (2019), el primer aerogenerador fabricado en el país, usando tecnología moderna, fue hecho por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en la década de 1990. A partir de este diseño se han producido otros, como los fabricados por Ad Astra Rocket y la turbina eólica SkyTwister que ha recibido múltiples galardones a nivel nacional e internacional. La evidencia demuestra que Costa Rica cuenta con expertos en la instalación de turbinas, construcción de cimientos y armado de piezas como aspas, tren principal, góndola, cojinetes, sistemas de control, caja de cambios, y torres (Richmond *et al.*, 2019). Por lo tanto, cualquier nuevo proyecto de aprovechamiento eólico, como el clúster del Pacífico Norte, podrá contar con esta experiencia. No obstante, no hay práctica en el embalaje y armado de turbinas eólicas en el mar, tampoco buques de transporte que apoyen las operaciones de armado de cimientos, inmersión de cableado, mecanismos de fijación al fondo y conexión con la subestación en tierra. A esta segunda macro actividad se le asigna una valoración de tres puntos (Cuadro 4).

Balance de plantas: Excluyendo las turbinas, esta macro actividad considera las demás acciones que se requieren para la construcción del proyecto, como es el caso del tendido y colocación de cables en el fondo marino, cimientos para la turbina, fundaciones de torres eólicas, subestaciones, todo el trabajo en aceros y construcción de talleres en tierra.

Avance nacional: Tanto en la costa del Pacífico como en el Caribe, existen importantes obras de infraestructura que demuestran avances tecnológicos y experiencia constructiva en el mar. Colocación de cables submarinos de fibra óptica (Maya I y II), atracaderos, puertos, terminales portuarias industriales, plataformas azucareras y marinas turísticas representan algunos ejemplos de dicha experiencia. Sin embargo, es importante mencionar que aunque se cuenta con infraestructura básica, ninguna de ellos podría albergar las obras de un proyecto eólico marino. Deben hacerse mejoras sustantivas para contar con patios de trabajo superiores a ocho hectáreas, armado de los cimientos, el almacenaje de las partes de los aerogeneradores y el resto de los equipos. De acuerdo con la opinión de experto (K. Lobo, PyS-ICE, *comp. per.*, 2021), estudios

del ICE concluyen que para el desarrollo de plantas eólicas marinas deben construirse puertos nuevos que permitan habilitar la actividad. Por otro lado, la experiencia en tendido de cable submarino es reducida y la misma se refiere a contratos extranjeros. Por lo indicado la valoración a la tercera macro actividad es de un punto (Cuadro 5).

Instalación y puesta en marcha: En esta macro actividad se ejecuta la instalación de la planta y las turbinas y toda la actividad terrestre y marítima que requiere la puesta en marcha del parque eólico. Las principales acciones que se ejecutan son: instalación de turbinas, uso de barcos especializados para el transporte de maquinaria y materiales pesados, instalación de puertos para logística en mar, cimentaciones, colocación y estabilización de cables en alta mar, protección de la subestación y equipo y servicios de apoyo que requiere todo el trabajo en el continente. También se consideran trabajos alejados de la costa, como la instalación de subestaciones marinas, manipulación e instalación de cimientos, anclajes, uso de barcos grúas con sistemas de posicionamiento dinámico, helipuertos y pasarelas para el desplazamiento de personal especializado. Para la fijación de las torres y turbinas se necesitan grúas especializadas de izaje y de elevación (grúas), para alinear las torres se requieren sistemas digitales de guiado y posicionamiento de pilotes, para revisar el alineamiento se requiere un barco sumergible. Un yunque, martillo y amortiguador de ruidos es necesario para la inserción de los pilotes en el lecho marino. En tierra de debe contar con la construcción de toda obra gris para entregar el parque eólico a los equipos operativos. La cadena de logística, en tierra, requiere bodegas y almacenes para cables y un puerto de reparaciones, construcción y repuestos, así como instalaciones para la atención primaria de emergencias.

Avance nacional: A nivel nacional no existe experiencia específica del sembrado de torres para generación eólica, ni se cuenta con infraestructura para atender los requerimientos de un parque eólico en el mar. La valoración a esta macro actividad es de un punto (Cuadro 6).

Operación y mantenimiento: Esta macro actividad considera la operación, mantenimiento y servicios necesarios (OMS) durante la vida útil del parque eólico. En esta fase se mantiene el funcionamiento continuo de las turbinas eólicas, balance de la planta y todos los activos de transmisión. La OMS inicia cuando finalizan las obras de construcción del parque eólico. Las actividades se realizan bajo estándares de calidad y riesgo que garanticen operaciones permanentes y seguras, que preserven la integridad física de los activos del parque y la producción de

electricidad. Entre las actividades sustantivas de esta macro obra están la logística tierra-mar-tierra, mantenimientos planeados y no planeados a turbinas, reemplazos a fundaciones y cableados. La logística de mar abierto es compleja e incluye maniobras permanentes con vehículos aéreos y marinos no tripulados, helicópteros y puertos especializados. Las operaciones regulan la gestión del activo productivo (parque eólico), normas de salud y seguridad ocupacional, monitoreo remoto de sitio, monitoreo ambiental, administración, supervisión de operaciones marítimas, de embarcaciones, muelles y tareas administrativas. Las actividades de mantenimiento y servicio garantizan la integridad operativa continua de las turbinas eólicas y de la planta, incluido el mantenimiento planificado y la respuesta a fallas no previstas.

Avance nacional: Esta macro actividad requiere experiencias previas en la operación, mantenimiento y servicio (OMS) de un parque eólico durante la vida útil. En lo indicado, a nivel nacional se tiene amplia conocimiento en plantas en tierra, por ello la OMS no es una restricción absoluta en el desarrollo de la energía eólica marina. La valoración a esta macro actividad es de tres puntos (Cuadro 7), y se hace con base en estudios previos y experiencias campo del ICE. Adicionalmente, como lo señala K. Lobo (comp. per., 2021), como parte de un megaproyecto eólico se deben adquirir barcos y eventualmente helicópteros en parques con distancias mayores a los 50 km de la costa. Es importante indicar también que este tipo de servicios tiende a subcontratarse e incluirse dentro de los costos en los análisis financieros, de forma que se garantiza la disponibilidad de la planta el mayor tiempo posible con empresas especializadas, reduciendo el riesgo y aumentando la disponibilidad de la generación.

Desarme y cierre: El desarme y cierre se aplica al final de la vida útil y requiere la puesta a salvo de algunos componentes de infraestructura. El desarme y cierre se realiza después de 20 o 25 años de funcionamiento del proyecto e incluye traslados de equipos especializados hacia la costa y también la eliminación de aparatos. En esta actividad se desmantelan los activos del parque eólico marino (turbinas, fundaciones, cableado, subestación mar adentro, mástil meteorológico, cables submarinos). El cierre implica la clausura del puerto, bodegas, instalaciones, talleres, reciclaje o eliminación de materiales y encuestas de opinión sobre finiquito social, económico y ambiental del área de influencia del proyecto.

Avance nacional: A nivel nacional, ni regional, se desconocen experiencias previas. La valoración a esta macro actividad es de un punto (Cuadro 8).

DISCUSIÓN

Esta investigación cumple con el objetivo de iniciar el debate y discusión sobre el desempeño nacional relacionado con la cadena de suministro y el futuro aprovechamiento del potencial eólico marino de Costa Rica. La incorporación de las principales experiencias nacionales e internacionales, documentadas en materia de desarrollo eólico y macro actividades de esta cadena, dan robustez y objetividad a los resultados de esta investigación. Así y de acuerdo con Richmond *et al.*, (2019) y con base en los resultados de la valoración cuali-cuantitativa aplicada, el país ha consolidado capacidades e infraestructura para el futuro aprovechamiento de este recurso electro-energético, pero también quedan al descubierto importantes retos y brechas para el despliegue de esta industria. De hecho, de las seis macro actividades estudiadas, cuatro consiguieron un puntaje de bueno a regular, las otras dos tienen bajas calificaciones mostrando rezagos. Esto es significativo y revelador, no solo para el ministerio rector encargado de la planificación energética, sino para dimensionar los esfuerzos e inversiones para aprovechar la energía renovable no convencional disponible en el mar. El aporte de esta energía futura dependerá de una serie de decisiones y de voluntad política en materia energética, de construcción de capacidades técnicas y de infraestructura marino-costera que han reveladas en este análisis.

De acuerdo con Bonilla (2015), los resultados de esta investigación son cruciales en la planificación de la hoja de ruta de energía eólica marina, no solo por referenciar el actual *business as usual* (BAU), sino por la proyección de acciones que provocarán el despegue de esta industria a nivel local. En esto, según Contreras (2017) y Richmond *et al.*, (2019), existen fortalezas en el desarrollo y gestión de proyectos, en el uso de turbinas y en las diferentes actividades que requiere el balance de una planta de generación eólica, no obstante, y acorde con lo que destacan Díaz (2006) e Hidalgo (2013), quedan de manifiesto brechas en la instalación y puesta en marcha, operación y mantenimiento y en desarme y cierre de una planta eólica marina. Importantes, pero no absolutas, estas limitaciones deben convertirse en frentes de trabajo y de acciones efectivas para desarrollar un proyecto eólico marino. Lo anterior es significativo para el MINAE y otras dependencias gubernamentales vinculadas con energía y el mar, así como para la academia y ONG's con acción social costera. Estos resultados son estratégicos para la banca multilateral que opera en Costa Rica y en la región Centroamericana, en especial las que tienen líneas de financiamiento para la consolidación de portafolios de energía renovable no convencional.

El futuro despliegue comercial de proyectos eólicos marinos deberá esperar detonantes externos, como la demanda eléctrica proyectada por el plan nacional de descarbonización o el programa nacional de electro movilidad. Mientras que alguna de estas actividades se materializa, el país cuenta con experiencia constructiva, abundante recurso eólico continental sin explotar y con costos por megavatio menores que el megavatio de eólico marino. En paralelo a la preparación del aprovechamiento del eólico marino, es necesario aumentar la participación de la fracción del potencial existente (aproximadamente 388 MW de energía), y que actualmente es 11% de la capacidad instalada del Sistema Eléctrico (PEG, 2018).

Para la fase de construcción y armado de turbinas, la historia nos favorece. Existen fortalezas técnicas para el montaje de los componentes para aprovechar el viento, hay más de 35 años de experiencia desde que se construyó primera planta eólica con fines comerciales, Plantas Eólicas S.A (PESA), desde entonces tanto el número de plantas, como la importancia de la generación eólica, han aumentado.

Con respecto al desarrollo de capacidades, los proyectos eólicos en funcionamiento resultan las mejores escuelas y casos de estudio para analizar los elementos técnicos fundamentales de un desarrollo eólico continental, pero que aplica a futuros proyectos ejecutados lejos de la costa. No iniciamos de cero, varias décadas de OMS de proyectos eólicos continentales serán la base esencial para establecer la potencia eléctrica, potencia del viento y potencia extraíble de proyectos en el mar. Costa Rica cuenta con ingenieros especializados con experiencia y conocimientos muy específicos sobre el aprovechamiento del viento, sobre cálculos de la potencia de las turbinas, curvas de potencia y flujos de energía anual, estos expertos deberán formar las nuevas generaciones de ingenieros del mar. En cada acción, la contribución de la academia, los gremios de profesionales e instituciones del país relacionadas serán esenciales en la conquista del patrimonio energético marino, cuya cadena de suministro apenas se comienza a revelar con este aporte.

AGRADECIMIENTOS

Por el respaldo para el desarrollo de este estudio, el primer autor agradece a la Dirección Académica del Campus Liberia, Sede Regional Chorotega de la Universidad Nacional y a los colegas de la Red Iberoamericana de Energía Marina, RIBEMAR, por la información sobre la cadena de suministro de la industria eléctrica. El texto final aceptado fue beneficiado por la

experiencia, lectura crítica y aportes de los revisores externos. A ellos un especial agradecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, B., L. Tamayo y A. Fadul. (2012). Vigilancia Tecnológica: Metodologías y Aplicaciones. *Revista gestión de las personas y tecnología*, 13, 2-13.
- Brenes, A., A. Hidalgo y F. Jiménez. (2014). Diseño de un sistema de cadena de suministro capaz de responder efectivamente a la alta variabilidad de la demanda en Havells-Sylvania, Costa Rica. Tesis para optar a la Licenciatura en Ingeniería Industrial. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Costa Rica.
- Bonilla, J. (2015). Energía Eólica en Costa Rica. Foro Iberoamericano de Energías Renovables no Convencionales, 17 y 18 de setiembre del 2015, en San José, Costa Rica. <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/12a7d75f-c615-4587-b3c4d6d89ee2bc1d/Eolico+JavierBonilla+ForoER.pdf?MOD=AJPERES>
- BVG Associates. (2019). Opportunities in offshore wind for the Norwegian supply chain. Norwegian: BVG Associates 2017.
- Contreras, L. y P. Sauma. (2017). Perspectivas de la energía eólica en Costa Rica: estado, retos y oportunidades. Observatorio del Desarrollo y Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2017.
- Delgado, M; Infante, M.; Abreu, Y; B. García; O. Infante y A. Díaz. (2010). Metodología de vigilancia tecnológica en universidades y centros de investigación Revista CENIC. *Ciencias Biológicas*, 41, 1-13.
- Díaz, R. (2006). El Desarrollo de los Proyectos de Energía Eólica en Costa Rica (1979- 2005). México Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I, 19 y 23 de junio del 2015, en México D.F., México. Disponible en: <http://oei.es/memoriasctsi/seccuno07.htm>
- Fallas, M. (2018). Criterios ambientales de cumplimiento para el desarrollo de proyectos de generación de energía marina en Costa Rica. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Costa Rica.
- FOWIND, (2016). Supply Chain, Port Infrastructure and Logistics Study for offshore wind farm development in Gujarat and Tamil Nadu June 2016. Facilitating Offshore Wind in India. Technical report. 124 p.
- Gamboa, O. Quesada, H. y C. Mora. (2007). Cadenas de suministros en Costa Rica: la importancia de los encadenamientos de empresas nacionales como estrategia competitiva. Informe de proyecto de investigación. Dirección de proyectos. Vicerrectoría de investigación y extensión Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

- Godínez-Zamora, G; Víctor-Gallardo, L; Angulo-Paniagua, J; Ramos, E; Howells, M; Usher, W; De León, F; Meza, A; and Quirós-Tortós, J. (2020). Decarbonising the transport and energy sectors: technical feasibility and socioeconomic impacts in Costa Rica. *Energy Strategy Reviews* 32. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100573>.
- Hidalgo, A.; Barrantes, L.; Rivas, J. (2013). Potencial Eólico de Costa Rica. San José: Departamento de Proceso de Expansión Integrada, Centro Nacional de Planificación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A., y Finlay, L. (2016). An International Vision for Ocean Energy. Version III. Recuperado a partir de www.ocean-energy-systems.org.
- ICE y Electrowatt, (1984). Non Conventional Energy Sources. Volume 1. Wind Energy. San José: Departamento de Estudios Especiales y Departamento de Estudios Básicos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y Electrowatt Engineering Services Ltd.
- ICE, (2013). Instituto Costarricense de Electricidad, ICE. 2013. Determinación del Potencial de Energía Marina para Generación Eléctrica de Costa Rica. Centro Nacional de Planificación y Desarrollo Eléctrico. ICE. San José. Costa Rica.
- ICE, (2018). Instituto Costarricense de Electricidad, ICE. Plan de Expansión de la Generación. Proceso Expansión del Sistema de la Dirección de Planificación y Desarrollo Eléctrico, Dirección Corporativa de Electricidad, Instituto Costarricense de Electricidad. 159 p.
- IRENA, (2019). La reducción de los costes de la energía renovable abre la puerta a una mayor ambición climática. Comunicado de Prensa. Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos, 29 de mayo de 2019.
- Jara, T. (2006). Introducción a las energías renovables no convencionales. Empresa Nacional de Electricidad S. A., Chile.
- Lambert, D. M., Cooper, M. C. y Pagh J. D. (1998). "Supply Chain Management: Implementation issues and research opportunities". *Int. J. Logistic Management*, 9(2),1-19.
- Laporte, S. 1979. Energía eólica en Fuentes de Energía No Convencionales. San José, Costa Rica: Departamento de Estudios Especiales, Dirección de Planificación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- Laporte, S. (1980). Análisis preliminar del viento en Costa Rica. San José, Costa Rica: Departamento de Estudios Básicos, Dirección de Planificación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- Luderer, G., Bosetti, V., Jakob, M., Leimbach, M., Steckel, J. C., Waisman, H., y Edenhofer, O. (2012). The economics of decarbonizing the energy system-results and insights from the RECIPE model intercomparison. *Climatic Change*, 114(1), 9–37. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0105-x>.
- Poltronieri, F., y Cabrera, J. (2016). Impacto Ambiental y Mitigación de Daños. San José, Costa Rica.

- Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Marbet, V. A., y Venkataramanan, M. A. (1998). "Special research focus on Supply chain linkages: Challenges for design and management in the 21st century". *Decision Science*, 29, 537-552.
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2019). VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 (2 ed.). San José, Costa Rica.
- Norwegian Energy Partners, (2017). *Norwegian supply chain opportunities in offshore wind. A report of BVG Associates*. Technical report. Norway.
- PDE, (2019). Determinación del Potencial eólico marino para generación eléctrica de Costa Rica. Planificación y Desarrollo Eléctrico, Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Informe técnico, 68 p.
- Poulsen, T. and L. Rasmus. (2017). Is the supply chain ready for the green transformation? The case of offshore wind logistics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 758-77).
- Richmond-Navarro, G; Murillo-Zumbado, G; Casanova-Treto, P; Piedra-Segura, J. (2019). Estado actual de la investigación sobre turbinas eólicas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 32 (2), 54-67.
- Rodríguez, Y; Castellanos, A. y Z. Ramírez. (2016). Gestión documental, de información, del conocimiento e inteligencia organizacional: particularidades y convergencia para la toma de decisiones estratégicas *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 27 (2), 206-224.
- Rojas, J. (2010). La Vigilancia Tecnológica como Herramienta de Competitividad e Innovación. *Éxito empresarial*, 154, 2010. CEGESTI, Costa Rica.
- Sancho, Sebastián (2000). Aprovechamiento de Fuentes No Convencionales de Energía. San José: Centro Nacional de Planificación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- Seco, L. (2005). Diseño y propuesta de mercadeo para un Programa de posgrado en logística y administración de la cadena de suministros para la Universidad de Costa Rica. Trabajo Final de Graduación. Universidad de Costa Rica, Posgrado en Administración y Dirección de Empresas, San José, Costa Rica. 158 p.
- Warehousing Operations Certification Track. (2016). *LINCS in Supply Chain Management Consortium*. Recuperado de www.LINCS.education.org

CUADRO 1

Matriz de evaluación de las macro actividades de la cadena de suministro

Macro-actividades	Condición	Ponderado	Estado
Desarrollo y gestión del proyecto	Aspecto 1 Aspecto 2...	$\sum_{i=1}^n x_i = 5 \text{ Clase mundial}$ $\sum_{i=1}^n x_i = 3 \text{ Buena - regular}$ $\sum_{i=1}^n x_i = 1 \text{ Mala con rezagos}$	Clase mundial/ Buena-regular/ Mala con rezago
Fase de las turbinas	Aspecto 1 Aspecto 2...		Clase mundial/ Buena-regular/ Mala con rezago
Balance de plantas	Aspecto 1 Aspecto 2...		Clase mundial/ Buena-regular/ Mala con rezago
Instalación y puesta en marcha del proyecto	Aspecto 1 Aspecto 2...		Clase mundial/ Buena-regular/ Mala con rezago
Operación y mantenimiento	Aspecto 1 Aspecto 2...		Clase mundial/ Buena-regular/ Mala con rezago
Desarme y cierre	Aspecto 1 Aspecto 2...		Clase mundial/ Buena-regular/ Mala con rezago

CUADRO 2

Clasificación general del impacto

Calificación	Clasificación
Igual a 5	Clase mundial
Igual a 3	Buena-regular
Igual a 1	Mala con rezagos

CUADRO 3

Macro actividad: Desarrollo y gestión de proyectos

Desarrollo y gestión del proyecto: Toda la planificación y estudios previos: Consideran todas las investigaciones en sitio para la ubicación del parque eólico	Valor	Calificación otorgada
<p>De clase mundial, se cuenta con las condiciones habilitantes para avanzar</p>	<ul style="list-style-type: none"> El desarrollo y la gestión del proyecto cubre todas las actividades que se requieren para el cierre financiero o el permiso en firme para proceder con la construcción del parque eólico marino. Completas las investigaciones para ubicación del parque eólico Estudio de rutas de cableado en tierra, en alta mar y en el sitio de la subestación en tierra. Se cuenta con estudios geofísicos completos Estudios batimétricos completos disponibles Estudios topográficos del fondo marino Esta fase cuenta con evaluación de recursos marinos Hay un estudio de turismo marino. Hay investigaciones del impacto sobre la pesca deportiva Hay investigaciones sobre la vida marina, estudios bénticos, pelágicos, aves y mamíferos, peces Hay trazado de rutas migratorias Se cuenta con mapas de áreas marinas protegidas Se cuenta con estudios de impacto ambiental Hay propuestas de ordenamiento espacial marino Se cuenta con evaluaciones geológicas y geotécnicas del lecho marino Hay resultados de negociación con partes interesadas Existe un mecanismo de gobernanza avalado para el consentimiento de las partes y permisos requeridos. 	<p>5 puntos</p>
<p>Buena, requiere completar requisitos esenciales y actividades importantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> El desarrollo y la gestión del proyecto cubre algunas de las actividades que se requieren para el cierre financiero o el permiso en firme para proceder con la construcción del parque eólico marino. Hay disponibles algunas investigaciones para ubicación del parque eólico Solo hay propuestas iniciales de rutas de cableado en tierra, en alta mar y en el sitio de la subestación en tierra. Se cuenta con estudios geofísicos parciales Estudios batimétricos no disponibles Estos topográficos del fondo marino incompletos Esta fase cuenta con evaluación de algunos recursos marinos Hay un estudio incompleto de turismo marino. Se desconoce el impacto sobre la pesca deportiva Hay algunas investigaciones generales sobre la vida marina, estudios bénticos, pelágicos, aves y mamíferos, peces Hay algunas rutas migratorias trazadas Se cuenta con algunos mapas de áreas marinas protegidas Se cuenta con algunos estudios de impacto ambiental Propuestas de ordenamiento espacial marino inconcluso Se cuenta con algunas evaluaciones geológicas y geotécnicas del lecho marino Hay resultados parciales de negociación con partes interesadas Existe un mecanismo de gobernanza parcialmente avalado para el consentimiento de las partes y permisos requeridos. 	<p>3 puntos</p> <p>X</p>
<p>Básica, solo cuenta con algunas condiciones habilitantes y carece de importantes acciones para el impulso de la industria</p> <p>1 punto</p>	<ul style="list-style-type: none"> Es incipiente el desarrollo y la gestión del proyecto de las actividades que se requieren para el cierre financiero o el permiso en firme para proceder con la construcción del parque eólico marino. No hay disponibles investigaciones para ubicación del parque eólico No hay ni propuestas iniciales de rutas de cableado en tierra, en alta mar y en el sitio de la subestación en tierra. Se cuenta con estudios geofísicos parciales Estudios batimétricos no disponibles Estos topográficos del fondo marino incompletos Esta fase cuenta con evaluación de algunos recursos marinos Hay un estudio incompleto de turismo marino. Se desconoce el impacto sobre la pesca deportiva No hay investigaciones sobre la vida marina, estudios bénticos, pelágicos, aves y mamíferos, peces No hay rutas migratorias trazadas Hay algunos mapas de áreas marinas protegidas No hay estudios de impacto ambiental No hay propuestas de ordenamiento espacial marino No hay evaluaciones geológicas y geotécnicas del lecho marino Hay resultados parciales de negociación con partes interesadas Existe un mecanismo de gobernanza parcialmente avalado para el consentimiento de las partes y permisos requeridos. 	<p>1 punto</p>

CUADRO 4
Suministro de Turbinas

Suministro de Turbinas: La turbina convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica	Valor	Calificación otorgada
<p>De clase mundial, se cuenta con las condiciones habilitantes para avanzar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hay experiencia en la instalación de turbinas (continental y marina) • Hay experiencia en construcción de cimientos de torres en tierra firme y en el mar. • Hay control eficiente de procesos constructivos complejos como: armado de aspas, tren principal, góndola, cojinetes, sistemas de control, torres, caja de cambios, banco de poder, rotor. • Se cuenta con infraestructura para ensamblar o construir las aspas en tierra • Hay experiencia en el ensamblaje de turbinas (continental y marina) para que cumplan con estándares de mayor durabilidad y funcionamiento en ambientes marinos hostiles. • Se cuenta con el buque de transporte y ensamblaje de la turbina en mar abierto • Hay experiencia en la inmersión de cableado, mecanismos de fijación al fondo y conexión con la subestación en tierra. • Se cuenta con expertos en conexiones con la subestación en tierra. • 	<p>5 puntos</p>
<p>Buena, requiere completar requisitos esenciales y actividades importantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hay experiencia en la instalación únicamente de turbinas onshore • Solo hay experiencia en construcción de cimientos de torres en tierra firme • Hay control eficiente de procesos constructivos complejos como: armado de aspas, tren principal, góndola, cojinetes, sistemas de control, torres, caja de cambios, banco de poder, rotor para turbinas marinas • Se cuenta con infraestructura para ensamblar o construir las aspas en tierra • Hay experiencia en el ensamblaje de turbinas (únicamente onshore) para que cumplan con estándares de mayor durabilidad y funcionamiento • No se cuenta con el buque de transporte y ensamblaje de la turbina en mar abierto • No hay experiencia en la inmersión de cableado, mecanismos de fijación al fondo y conexión con la subestación en tierra. • Se cuenta con expertos en conexiones con la subestación en tierra. 	<p>3 puntos</p>
<p>Básica, solo cuenta con algunas condiciones habilitantes y carece de importantes acciones para el impulso de la industria</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hay experiencia en la instalación únicamente de turbinas onshore • Solo hay experiencia en construcción de cimientos de torres en tierra firme • Es deficiente el control de procesos constructivos complejos como: armado de aspas, tren principal, góndola, cojinetes, sistemas de control, torres, caja de cambios, banco de poder, rotor para turbinas marinas • No se cuenta con infraestructura para ensamblar o construir las aspas en tierra • Hay poca experiencia en el ensamblaje de turbinas (únicamente onshore) para que cumplan con estándares de mayor durabilidad y funcionamiento • No se cuenta con el buque de transporte y ensamblaje de la turbina en mar abierto • No hay experiencia en la inmersión de cableado, mecanismos de fijación al fondo y conexión con la subestación en tierra. • Son pocos los expertos con experiencia en conexiones con la subestación en tierra. 	<p>1 punto</p>

CUADRO 5
Balance de plantas

Balance de plantas:	El balance de la planta incluye todos los componentes del parque eólico excepto las turbinas, incluyendo activos de transmisión construidos como resultado directo del parque eólico.	Valor	Calificación otorgada
De clase mundial, se cuenta con las condiciones habilitantes para avanzar	<ul style="list-style-type: none"> • La fase de balance de plantas reúne todas las actividades de la construcción del proyecto eólico marino • Se cuenta con experiencia y expertos en el armado y colocado de cables submarinos • Existe experiencia en la construcción de cimientos submarinos para la colocación de la turbina. • Existe experiencia en la construcción de fundaciones de torres eólicas marinas • Hay experiencia en la construcción de subestaciones terrestres o marinas • Hay experiencia instalada para el manejo de trabajos en acero • Hay experiencia en el manejo de talleres en tierra. 	5 puntos	
Buena, requiere completar requisitos esenciales y actividades importantes	<ul style="list-style-type: none"> • La fase de balance de plantas no tiene las actividades de la construcción del proyecto eólico marino • No se cuenta con experiencia y expertos en el armado y colocado de cables submarinos • No existe experiencia en la construcción de cimientos submarinos para la colocación de la turbina. • Existe experiencia en la construcción de fundaciones de torres eólicas terrestres • Hay experiencia en la construcción de subestaciones terrestres • Hay experiencia instalada para el manejo de trabajos en acero • Hay experiencia en el manejo de talleres en tierra 	3 puntos	X
Básica, solo cuenta con algunas condiciones habilitantes y carece de importantes acciones para el impulso de la industria	<ul style="list-style-type: none"> • La fase de balance de plantas no tiene las actividades de la construcción del proyecto eólico marino • No se cuenta con experiencia y expertos en el armado y colocado de cables submarinos • No existe experiencia en la construcción de cimientos submarinos para la colocación de la turbina. • No existe experiencia en la construcción de fundaciones de torres eólicas terrestres • Hay poca/nula experiencia en la construcción de subestaciones terrestres • Hay poca/nula experiencia instalada para el manejo de trabajos en acero • Hay poca/nula experiencia en el manejo de talleres en tierra 	1 punto	

CUADRO 6
Instalación y puesta en marcha

Instalación y puesta en marcha: Instalación de la planta y las turbinas, incluida toda la actividad terrestre y marítima para puesta en marcha del parque eólico.	Valor		
<p>De clase mundial, se cuenta con las condiciones habilitantes para avanzar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se cuenta con experiencia en instalación de turbinas marinas • Hay experiencia el uso de barcos especializados para el transporte de maquinaria y materiales pesados, instalación de puertos y logística en mar, armado de turbinas y cimentaciones, colocación y estabilización de cables en alta mar, protección de la subestación y equipo y servicios de apoyo que requiere todo el trabajo onshore. • Hay experiencia en la instalación de subestaciones marinas • Experiencia en trabajos en alta mar para la manipulación e instalación de cimientos, fijaciones al mar. • Existe experiencia para tripular barcos grúas con sistema de posicionamiento dinámico, sistemas de propulsión y elevación, helipuerto y pasarela para el desplazamiento de personal especializado. • Se cuenta con experiencia en la fijación de las torres y turbinas marinas mediante grúas. • Hay experiencia en el manejo de anclado de pilotes para las torres • Experiencia con manejo de barco sumergible. • Experiencia en el uso de yunque, martillo para la inserción de los pilotes en el lecho marino. • Hay conocimiento para la construcción de subestaciones en tierra, así como bodegas y almacenes de reparaciones, construcción y repuestos. 	<p align="center">5 puntos</p>	
<p>Buena, requiere completar requisitos esenciales y actividades importantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se cuenta con experiencia en instalación de turbinas terrestres • Poca o nula experiencia en el uso de barcos especializados para el transporte de maquinaria y materiales pesados, instalación de puertos y logística en mar, armado de turbinas y cimentaciones, colocación y estabilización de cables en alta mar, protección de la subestación y equipo y servicios de apoyo que requiere todo el trabajo onshore. • Hay experiencia en la instalación de subestaciones terrestres • No hay experiencia en trabajos en alta mar para la manipulación e instalación de cimientos, fijaciones al mar. • Poca o nula experiencia para tripular barcos grúas con sistema de posicionamiento dinámico, sistemas de propulsión y elevación, helipuerto y pasarela para el desplazamiento de personal especializado. • Se cuenta con experiencia en la fijación de las torres y turbinas terrestres mediante grúas. • Hay experiencia en el manejo de anclado de pilotes para las torres terrestres • Poca o nula experiencia con manejo de barco sumergible. • Buena experiencia en el uso de yunque, martillo para la inserción de los pilotes tierra adentro. • Buena experiencia conocimiento para la construcción de subestaciones en tierra, así como bodegas y almacenes de reparaciones, construcción y repuestos. 	<p align="center">3 puntos</p>	
<p>Básica, solo cuenta con algunas condiciones habilitantes y carece de importantes acciones para el impulso de la industria</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se cuenta con experiencia en instalación de turbinas terrestres • No hay experiencia en el uso de barcos especializados para el transporte de maquinaria y materiales pesados, instalación de puertos y logística en mar, armado de turbinas y cimentaciones, colocación y estabilización de cables en alta mar, protección de la subestación y equipo y servicios de apoyo que requiere todo el trabajo onshore. • Nula o poca experiencia en la instalación de subestaciones terrestres • No hay experiencia en trabajos en alta mar para la manipulación e instalación de cimientos, fijaciones al mar. • Nula experiencia para tripular barcos grúas con sistema de posicionamiento dinámico, sistemas de propulsión y elevación, helipuerto y pasarela para el desplazamiento de personal especializado. • Poca experiencia en la fijación de las torres y turbinas terrestres mediante grúas. • No hay experiencia en el manejo de anclado de pilotes para las torres terrestres • Nula experiencia con manejo de barco sumergible. • Poca o Buena experiencia en el uso de yunque, martillo para la inserción de los pilotes tierra adentro. • Poca o buena experiencia conocimiento para la construcción de subestaciones en tierra, así como bodegas y almacenes de reparaciones, construcción y repuestos. 	<p align="center">1 punto</p>	<p>X</p>

<p style="text-align: center;">CUADRO 7 Operación y mantenimiento</p>		
<p>Operación y mantenimiento: Considera la operación, mantenimiento y servicio (OMS) durante la vida útil del parque eólico. El enfoque de estas actividades es garantizar operaciones seguras, mantener la integridad física de los activos del parque eólico y optimizar la generación eléctrica.</p>	Valor	Calificación otorgada
<p>De clase mundial, se cuenta con las condiciones habilitantes para avanzar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante la vida útil del parque eólico se aplican las actividades de la fase de operación, mantenimiento y servicio (OMS). • Hay acciones e inversiones para mantener el funcionamiento continuo de las turbinas eólicas, balance de la planta y todos los activos de transmisión. • Hay planificación e inversión para cumplir con las actividades que necesitan en el continente y el mar. • Se cumplen con los mantenimientos planeados y no planeados a turbinas, fundaciones, cableado, así como reemplazos en caso de daño. • Hay experiencia para enfrentar la logística en mar abierto, incluyendo uso de vehículos aéreos y marinos no tripulados, helicópteros y puertos especializados. • Se promueve la capacitación, seguridad ocupacional en tierra y mar. • Hay experiencia en el monitoreo remoto de sitio, monitoreo ambiental, administración, supervisión de operaciones marítimas, de embarcaciones, muelle y tareas administrativas. • Hay experiencia para garantizar la continuidad en el funcionamiento de las turbinas y de la planta, incluido el mantenimiento planificado y la respuesta a fallas. 	5 puntos	
<p>Buena, requiere completar requisitos esenciales y actividades importantes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante la vida útil del parque eólico terrestre/marino se aplican, parcialmente, las actividades de la fase de operación, mantenimiento y servicio (OMS). • No hay experiencia en acciones e inversiones para mantener el funcionamiento continuo de las turbinas eólicas, balance de la planta y todos los activos de transmisión. • Hay planificación e inversión para cumplir con las actividades que necesitan en parques on-shore, se carece de experiencia en parques eólicos marinos • Se cumplen con los mantenimientos planeados y no planeados a turbinas, fundaciones, cableado, así como reemplazos en caso de daño en parques on-shore, se carece de experiencia en parques eólicos marinos • No hay experiencia para enfrentar la logística en mar abierto, incluyendo uso de vehículos aéreos y marinos no tripulados, helicópteros y puertos especializados. • Se promueve la capacitación, seguridad ocupacional en proyectos, en tierra, pero no en el mar. • Hay poca o nula experiencia en el monitoreo remoto de sitio, monitoreo ambiental, administración, supervisión de operaciones marítimas, de embarcaciones, muelle y tareas administrativas. • Hay experiencia para garantizar la continuidad en el funcionamiento de las turbinas y de la planta en tierra, pero no en el mar, incluido el mantenimiento planificado y la respuesta a fallas. 	3 puntos	x
<p> Básica, solo cuenta con algunas condiciones habilitantes y parece de importancia para el impulso de la industria</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante la vida útil del parque eólico terrestre se aplican, parcialmente, las actividades de la fase de operación, mantenimiento y servicio (OMS). • No hay experiencia en acciones e inversiones para mantener el funcionamiento continuo de las turbinas eólicas, balance de la planta y todos los activos de transmisión. • Hay poca o nula planificación e inversión para cumplir con las actividades que necesitan en parques on-shore, se carece de experiencia en parques eólicos marinos • Se cumplen, parcialmente, con los mantenimientos planeados y no planeados a turbinas, fundaciones, cableado, así como reemplazos en caso de daño en parques on-shore, se carece de experiencia en parques eólicos marinos • No hay experiencia para enfrentar la logística en mar abierto, incluyendo uso de vehículos aéreos y marinos no tripulados, helicópteros y puertos especializados. • Se promueve la capacitación, seguridad ocupacional en proyectos, en tierra, pero no en el mar. • Hay poca o nula experiencia en el monitoreo remoto de sitio, monitoreo ambiental, administración, supervisión de operaciones marítimas, de embarcaciones, muelle y tareas administrativas. • Hay poca experiencia para garantizar la continuidad en el funcionamiento de las turbinas y de la planta en tierra, pero no en el mar, incluido el mantenimiento planificado y la respuesta a fallas. 	1 punto	

CUADRO 8

Desarme y cierre

Desarme y cierre: El desarme y cierre incluye la eliminación de equipos el desmantelamiento de los activos del parque eólico marino (turbinas, fundaciones, cableado, subestación marina, mástil meteorológico, cables submarinos).	Valor	Calificación otorgada	
<p>De clase mundial, se cuenta con las condiciones habilitantes para avanzar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existe experiencia en el desarme y puesta a salvo de la infraestructura • Se cuenta con experiencia en desmantelamiento de turbinas, fundaciones, cableado, subestación marina, mástil meteorológico, cables submarinos. • Hay experiencia en el proceso de clausura del puerto, bodegas, instalaciones y talleres. • Se cuenta con un protocolo para la reutilización, reciclaje o eliminación de materiales • Se cuenta con expertos en la preparación, aplicación y análisis de encuestas sobre finiquito social y económico • Hay experiencia en la aplicación de encuestas para analizar el cierre del proyecto y aspectos ambientales del área de influencia del proyecto. 	<p>5 puntos</p>	
<p>Buena, requiere completar requisitos esenciales y actividades importantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existe experiencia en el desarme y puesta a salvo de la infraestructura • Poca o nula experiencia en desmantelamiento de turbinas, fundaciones, cableado, subestación marina, mástil meteorológico, cables submarinos. • Poca o nula experiencia en el proceso de clausura del puerto, bodegas, instalaciones y talleres. • Se cuenta con un protocolo para la reutilización, reciclaje o eliminación de materiales • Se cuenta con expertos en la preparación, aplicación y análisis de encuestas sobre finiquito social y económico • Poca o nula experiencia en la aplicación de encuestas para analizar el cierre del proyecto y aspectos ambientales del área de influencia. 	<p>3 puntos</p>	
<p>Básica, solo cuenta con algunas condiciones habilitantes y carece de importantes acciones para el impulso de la industria</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existe poca o nula experiencia en el desarme y puesta a salvo de la infraestructura • Se cuenta con nula experiencia en desmantelamiento de turbinas, fundaciones, cableado, subestación marina, mástil meteorológico, cables submarinos. • Hay nula experiencia en el proceso de clausura del puerto, bodegas, instalaciones y talleres. • Se cuenta con un protocolo para la reutilización, reciclaje o eliminación de materiales • Se cuenta con expertos en la preparación, aplicación y análisis de encuestas sobre finiquito social y económico • Hay nula experiencia en la aplicación de encuestas para analizar el cierre del proyecto y aspectos ambientales del área de influencia del proyecto. 	<p>1 punto</p>	<p>X</p>